



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 16 090.6

Anmeldetag: 09. April 2003

Anmelder/Inhaber: Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart/DE

Bezeichnung: Verfahren und Vorrichtung zur Reduzierung der
Bremslast an wenigstens einer Radbremse

IPC: B 60 T 8/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 22. März 2004
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Ebert

R. 305034

01.04.03 Gi/Kei

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

Verfahren und Vorrichtung zur Reduzierung der Bremslast an wenigstens einer
Radbremse

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Überwachung und Steuerung der Bremsanlage eines Fahrzeugs, wobei in Abhängigkeit von einem Vergleich einer erfassten Bremsgröße mit wenigstens einem vorgegebenen Schwellenwert, der Fahrsituation und dem Betriebszustand wenigstens einer im Fahrzeug befindlichen Fahrzeugkomponenten während eines Bremsvorgangs wenigstens eine geeignete Maßnahme durchgeführt wird, die die Verzögerung an wenigstens einer Radbremse modifiziert, wobei die Gesamtverzögerung des Fahrzeugs konstant gehalten wird bzw. unwesentlich verändert wird.

Die Bremsanlagen der gängigen Fahrzeuge sind standardmäßig mit Reibungsbremsen (zum Beispiel Scheiben- oder Trommelbremsen) zur Erzeugung einer Verzögerung des Fahrzeugs ausgestattet. Bei diesen Bremsen wird durch Anpressen eines Reibbelags an einen Rotor eine Reibkraft erzeugt, die wiederum ein Bremsmoment hervorruft. Die dabei erreichbare Verzögerung ist wesentlich von den Bedingungen des Reibkontaktes zwischen Reibbelag und Rotor abhängig. Der sogenannte Reibwert μ entspricht dabei dem Verhältnis der Reibkraft F_{r} zur aufgebrachten Normalkraft F_{N} . Dieser Reibwert μ unterliegt starken Schwankungen und ist temperaturabhängig. So sinkt der Reibwert μ bei hohen Temperaturen der Reibpartner auf einen minimalen Wert. Fällt der Reibwert μ unter einen notwendigen Sollwert zur Aufrechterhaltung der Verzögerung, so spricht man von einem Bremsenfading. Die Folge ist, dass an der Bremse eine höhere Normalkraft erzeugt werden muss, die ihrerseits wiederum eine ausreichend hohe Reibkraft bzw. ein

ausreichend hohes Reibmoment für die gewünschte Fahrzeugverzögerung erzeugt. Zu einer Erhöhung der Temperatur an den beiden im Reibkontakt stehenden Reibpartnern und somit eine Absenkung des Reibwerts μ kann beispielsweise durch häufiges Bremsen innerhalb kurzer Zeit (starke Bremsungen) oder bei langen Bergabfahrten mit ständig betätigter Bremse auftreten. Liegen jedoch keine außergewöhnlichen Bremsbetätigungen vor, beispielsweise im alltäglichen Innenstadtverkehr, so tritt Bremsfading nur selten auf. Dennoch ist es erforderlich, die Bremse für kleine Reibwerte bzw. dadurch erforderlich werdende hohe Normalkräfte auszulegen. Dies bedeutet einen hohen mechanischen Aufwand, der u.a. mit hohem Gewicht und hohen Kosten für die Bremse, als auch für die Betätigungseinheit einhergeht.

Eine Möglichkeit, ein Bremsfading zu vermeiden ist, die Bremskraftverteilung während eines Bremsvorgangs zwischen den Rädern der Vorderachse und der Hinterachse zu modifizieren. Bei einer konventionellen Bremskraftverteilung wird ein festes Verhältnis der Bremskraft zwischen der Vorder- und Hinterachse dadurch realisiert, dass vorne und hinten derselbe Hydraulikdruck auf unterschiedlich große Bremsen wirkt. Dabei wird entsprechend den gesetzlichen Vorschriften die Bremskraftverteilung so gewählt, dass möglichst die Hinterachse nicht vor der Vorderachse zum Blockieren kommt. Diese unterschiedliche Bremskraftverteilung kann beispielsweise durch die Verwendung eines Bremsdruckminderers, unterschiedlicher Reibradien an den Bremsen der Vorder- und Hinterachse sowie einer elektronischer Bremskraftverteilung (EBV) erreicht werden. Der Hintergrund für die Bremskraftsteuerung an den Achsen besteht darin, dass bei zu stark gebremster Hinterachse das Fahrzeug bei Kurvenbremsung instabil werden kann, d.h. zum Schleudern neigt. In der DE 41 28 087 A1 wird ein Bremsdruckregelsystem für ein Fahrzeug beschrieben, bei dem eine unterbremsste Hinterachse bei Kurvenbremsungen in Folge der Kreisgeometrie verhindert wird. Dabei wird der Bremsdruck an der Vorderachse vom Fahrer vorgegeben und der Bremsdruck an der Hinterachse eingeregelt. Die Regelung ist dabei so ausgelegt, dass der Schräglaufwinkel der Hinterachse dem Schräglaufwinkel der Vorderachse angeglichen wird.

Eine weitere Bremsdruckverteilung, die eine möglichst große Abbremsung des Fahrzeugs mit optimaler Kraftschlussausnutzung sicher stellt, besteht darin, die Bremsdruckverteilung auf die Fahrzeugachsen nach unterschiedlichen Kriterien vorzunehmen. Dabei kann z.B. zunächst bis zur Aussteuerung der maximalen Bremskraft an einer Achse nach der optimalen Bremskraftverteilung mit gleicher

Kraftschlussbeanspruchung an allen Achsen vorgegangen werden. Anschließend wird die Bremswirkung an der Achse mit dem noch niedrigeren Bremsdruck erhöht, um die vom Fahrer gewünschte Verzögerung zu erreichen.

5 Ferner ist bekannt, die Bremsdrücke bzw. die Bremskräfte entsprechend der gleichen Kraftschlussbeanspruchung für unterschiedlich dynamisch belastete Räder zu verteilen. In der EP 0 173 954 B1 werden die Bremsdrücke für die Bremsen der beiden Achsen mittels einer Bezugsmasse für das Fahrzeug und der durch den Fahrer vorgegebenen Sollverzögerung in einem abgespeicherten fahrzeugspezifischen Kennlinienfeld ermittelt. Diese ermittelten Bremsdrücke werden an den Bremsen eingesteuert und bei Abweichen des dabei erzielten Fahrzeugverzögerungswertes vom Sollverzögerungswert entsprechend modifiziert, bis der tatsächliche Fahrzeugverzögerungswert dem Sollverzögerungswert entspricht. Dabei wird aufgrund der neuen Bremsdrücke an den Achsen eine neue Bezugsmasse des Fahrzeugs ermittelt und als neue Bezugsmasse abgespeichert.

10 In der DE 33 13 078 A1 wird eine Bremsdruckregleinrichtung vorgeschlagen, die die ungleichmäßige Beanspruchung der Radbremsen eines Fahrzeugs ausnutzt. Mit der ungleichmäßigen Beanspruchung ist ein unterschiedlicher Verschleiß der jeweiligen Bremsbeläge verbunden, die zu unterschiedlichen Restdicken an den Radbremsen führen. Mit der in der DE 33 13 078 A1 vorgeschlagenen Bremsdruckregleinrichtung wird ein gleichmäßiger Verschleiß des Bremsbelags der Räder untereinander erzielt, wobei die durch die Bremsdruckregleinrichtung geleistete teilweise Zurückhaltung des Bremsdrucks entsprechend der verschleißabhängigen Bremsdruckzuführung das Gesamtverhalten der Bremsanlage nicht etwa ungleichmäßiger gestaltet, sondern in Richtung einer Harmonisierung entzerrt, indem ungleichmäßigen Bremswirkungen und Bremsbelagsverschleißeinflüssen entgegen gewirkt wird.

Vorteile der Erfindung

30 Bei der vorliegenden Erfindung handelt es sich um ein Verfahren und eine Vorrichtung, die zur Überwachung und Steuerung der Bremsanlage eines Fahrzeugs verwendet wird. Dabei wird zur Überwachung wenigstens eine, die Bremslast wenigstens einer Radbremse repräsentierenden Bremsgröße erfasst und mit einem vorgegebenen Schwellenwert verglichen. Der Kern der Erfindung besteht darin, dass in Abhängigkeit

von dem Vergleich und von der Fahrsituation des Fahrzeugs und/oder vom Betriebszustand wenigstens eine im Fahrzeug befindliche Fahrzeugkomponente während eines Bremsvorgangs wenigstens eine geeignete Maßnahme durchführt, die die Verzögerung an wenigstens einer Radbremse modifiziert. Dabei ist besonders zu beachten, dass die Gesamtverzögerung des Fahrzeugs während der Modifikation der Verzögerung an der wenigstens einen Radbremse konstant gehalten bzw. allenfalls unwesentlich verändert werden soll.

Vorteilhafterweise ist als geeignete Maßnahme eine Umverteilung der Bremslast von wenigstens einer Radbremse auf wenigstens eine andere Radbremse des Fahrzeugs und/oder eine Entlastung der Radbremse durch Nutzung von Energie aufnehmenden Komponenten des Fahrzeugs und/oder eine Modifikation der Motoransteuerung vorgesehen. Durch diese Maßnahmen kann beispielsweise erfolgreich ein Bremsenfading an den überwachten Radbremsen des Fahrzeugs verhindert bzw. kompensiert werden.

Bei der erfassten Bremsgröße wird in einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung eine die Belastung der Radbremse während einer Bremsstätigkeit repräsentierenden Größe erfasst. Dabei kann als Bremsgröße eine die Temperatur an wenigstens einem der Reibpartner der Radbremse repräsentierende Temperaturgröße und/oder eine den Reibwert zwischen den Reibpartnern der Radbremse repräsentierende Reibwertgröße und/oder eine Verschleißgröße, die den Verschleiß des Bremsbelags der Radbremse repräsentiert und/oder eine Bremsleistung der Radbremse und/oder eine aktuelle Verzögerung der Radbremse erfasst werden. In einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung kann neben dem absoluten Wert der Bremsgröße auch der zeitliche Verlauf der Bremsgröße und/oder die zeitliche Änderung der Belastung der Radbremse erfasst werden.

Da die Modifizierung der Verzögerung des Fahrzeugs von der momentanen Fahrsituation abhängen kann, ist in einer weiteren Ausgestaltungsform der Erfindung vorgesehen, vor dem Hintergrund des zeitlichen Verhaltens der Bremsanforderung, das sowohl durch den Fahrer, als auch durch eine zur Bremsansteuerung im Fahrzeug vorhandene Komponente, wie beispielsweise ein Antiblockiersystem (ABS), ein elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP) oder ein Adaptive Cruise Control (ACC), gesteuert werden kann, mit Hilfe von Plausibilitätsabfragen die Ansteuerung und die Belastung der im Fahrzeug vorhandenen Komponenten zu überwachen. Neben dem zeitlichen Verlauf der Bremsanforderung ist jedoch auch optional denkbar, dass der zeitliche Verlauf der Lenkanforderung durch den

Fahrer und/oder einer zur Lenksteuerung im Fahrzeug vorhandenen Komponente erfasst wird, als Fahrsituation zur Überwachung und Modifikation der Bremsenansteuerung herangezogen wird. Darüber hinaus kann neben den im Fahrzeug vorhandenen Komponenten auch das Vorhandensein eines Anhängers abgefragt werden, um eine
5 entsprechend abgestimmte Modifikation der Bremsenansteuerung zu erhalten.

Da verschiedene Fahrzeugkomponenten einen Einfluss auf die Ansteuerung der Radbremsen bzw. auf die erzeugte Verzögerung haben, ist vorgesehen, den Betriebszustand wenigstens der Batterie und/oder der Radbremsen und/oder des Motors
10 abzufragen. Dabei kann beispielsweise der Ladezustand der Batterie, der Funktionszustand der Radbremsen, insbesondere die momentane Bremsleistung an den Radbremsen und/oder eine momentane Motorleistung des Motors erfasst und bei der Modifikation der Verzögerung an den entsprechenden Radbremsen berücksichtigt
werden.
15

Durch die Umverteilung der Bremslast von den Radbremsen der nicht angetriebenen Achse zu den Radbremsen der angetriebenen Achse kann bei Vorhandensein entsprechender energieaufnehmender Komponenten an den Radbremsen der angetriebenen Räder eine Rückgewinnung der Bremsenergie erfolgen. Die dabei
20 gewonnene Energie kann dabei vorzugsweise der Batterie zugeführt werden. Vorteilhafterweise wird diese Energiegewinnung hauptsächlich dann durchgeführt, wenn die Batterie nicht maximal geladen ist und somit einen Teilladungszustand aufweist. Ist die Batterie jedoch voll geladen, so kann in einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung über eine Zuschaltung von Verbrauchern, wie beispielsweise der Lichtanlage, die
25 gewonnene Energie abgeführt werden.

Allgemein kann mit der vorliegenden Erfindung eine Bremsleistungsverringerung bei stark beanspruchten Bremsen vermindert werden. Durch die in der vorliegenden Erfindung aufgeführten Maßnahmen zur intelligenten Steuerung und Ausnutzung der im
30 Fahrzeug untergebrachten Radbremsen kann die Beanspruchung jeder überwachten Radbremse verringert werden, wobei Reibungsbremsen mit geringerem Gewicht und geringeren Kosten realisiert werden können. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass die Betätigungseinheit einer Reibungsbremse kleiner dimensioniert und damit leichter und kostengünstiger dimensioniert werden, ohne auf das erforderliche
35 Verzögerungspotential während eines Bremsvorgangs verzichten zu müssen. Bei einer elektromechanisch betätigten Bremse entstehen weiterhin geringere Anforderungen an

den maximalen elektrischen Leistungsbedarf, wodurch sich bei der elektrischen Ansteuerung ein enormes Einsparungspotential in Bezug auf deren Kosten ergibt. Darüber hinaus kann durch die Umverteilung der Bremslast auf die verschiedenen Radbremsen ein gleichmäßiger Verschleiß an allen Radbremsen realisiert werden. Dadurch können Wartungs- und Ersatzkosten gespart werden. Durch die Nutzung aller aufgezeigten Maßnahmen kann weiterhin der Verschleiß der Reibungsbremsen reduziert werden.

Neben den bisher angesprochenen Möglichkeiten der intelligenten Steuerung der Radbremsen, kann eine weitere geeignete Maßnahme zur Umverteilung der Bremskraftverzögerung an den Radbremsen beispielsweise darin bestehen, dass bei Fahrzeugen mit Heckantrieb und Bremsenergierekuperation der Bremskraftanteil der Hinterräder so weit erhöht wird, wie es für eine optimale Nutzung der Bremsenergie sinnvoll ist, ohne die Stabilität des Fahrzeugs zu beeinträchtigen. Insbesondere bei einem Fahrzeug mit Hybridantrieb liegt der Vorteil dabei in einer zusätzlichen Verbrauchersparnis. Diese ist umso höher, je mehr Bremsbetätigungen vorkommen. Durch die größeren Bremskräfte an den Hinterrädern kann mehr mechanische Leistung im generatorischen Betrieb der E-Maschine in elektrische Leistung umgewandelt und damit zurückgewonnen werden. Um eine notwendige Fahrzeugstabilität sicher zu stellen, ist die Bremskrafterhöhung an der Hinterachse zum Zweck der Energierückgewinnung nur bei Bremsvorgängen während Geradeausfahrten sinnvoll. Dies kann beispielsweise über die Abfrage der an die Räder weitergeleiteten Lenkanforderungen und/oder aufgrund von Plausibilitätsabfragen der Fahrzeugkomponenten sicher gestellt sein. Da jedoch ein Großteil der Bremstätigkeiten während Geradeausfahrten vorkommen, kann die Bremsenergierekuperation über den größten Teil des Fahrzeugbetriebs genutzt werden. Ein Brake-By-Wire-System, wie zum Beispiel die elektrohydraulische Bremse (EHB) bietet für die Bremsenergierekuperation erhebliche Vorteile, weil darin hydraulische und generatorische Bremsen relativ einfach koordiniert werden können. Da ein solches Bremssystem die Bremskraftverteilung (BKV) mit Hilfe eines Mikrocomputers ermittelt, ist die Energierekuperation relativ leicht durch die Modifikation des bestehenden BKV-Programms zu realisieren.

Zeichnungen

Figur 1 zeigt schematisch eine Übersicht der Bestimmung einer Überlastung wenigstens einer Radbremse. In Figur 2 ist anhand eines Flussdiagramms die Überwachung und Einleitung von geeigneten Maßnahmen zur Reduzierung der Überlastung dargestellt. Figur 3 zeigt eine schematische Darstellung der Aufnahme zur Bremskraftverteilung mit dem Ziel einer Bremsenergierekuperation. In der Figur 4 ist ein Ausführungsbeispiel dargestellt, in dem schematisch die Ansteuerung der Bremsenergierekuperation gezeigt wird. Ein Beispiel, wie die Anpassung der Bremsmomente durch die modifizierte Bremskraftverteilung bei Kurvenbremsungen stattfinden kann, ist in Figur 5 dargestellt.

Ausführungsbeispiele

Mit der vorliegenden Erfindung wird der Betriebszustand wenigstens einer Reibungsbremse hinsichtlich seines Reibwertes überwacht und bei Feststellung eines Absinkens des Reibwertes eine entsprechende Gegenmaßnahme eingeleitet, um die Einsatzfähigkeit bzw. das Bremsvermögen der überwachten Radbremsen während einer Bremsbetätigung zu sichern. Durch die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen können die Radbremsen wesentlich effizienter genutzt werden. Allgemein lässt sich so durch eine modifizierte Ansteuerung der Radbremsen eine Reduzierung des Belagverschleißes erreichen. Dies geschieht beispielsweise dadurch, dass ein gleichmäßiger Verschleiß auf alle Radbremsen verteilt wird. Voraussetzung für die Anwendung der Erfindung ist jedoch, dass der zentralen Steuereinheit 105, wie sie in Figur 1 abgebildet ist, ausreichend Parameter der Bremsanlage bzw. der Radbremsen zur Verfügung gestellt werden. Obwohl die Überwachung und die Steuerung der Bremsanlage mit den Radbremsen auch permanent angewandt werden kann, soll im folgenden Ausführungsbeispiel die Anwendung auf das Vorliegen einer Bremsanforderung beschränkt sein. Dies geschieht jedoch ohne Beschränkung der allgemeinen Anwendbarkeit der vorliegenden Erfindung. So ist denkbar, bei Vorliegen einer entsprechenden Überschreitung eines Schwellenwertes schon vor der Bremsanforderung entsprechende Maßnahmen einzuleiten.

Eine Bremsanforderung, wie sie beispielsweise durch den Fahrer und/oder durch ein automatisches Bremsensystem im Fahrzeug erzeugt wird, kann beispielsweise im Block 110 erzeugt werden. Diese Bremsanforderung kann beispielsweise mit einem Flag F_B (112) angezeigt werden. Dies kann beispielsweise dadurch geschehen, dass ein gesetztes Flag $F_B = 1$ einer Bremsanforderung entspricht. Dementsprechend ist ein ungesetztes

Flag $F_B = 0$ ein Zeichen dafür, dass keine Bremsanforderung vorliegt. Diese Bremsanforderung F_B (112) wird in der zentralen Steuerungs- und Überwachungseinheit 105 dazu verwendet, eine Aufnahme der Zustands- und Betriebsparameter der Bremsanlage inklusive der Radbremsen zu starten und geeignete Maßnahmen zur Erhöhung des Reibwerts zwischen den Reibpartnern der Radbremse einzuleiten, wenn ein Absinken des Reibwerts und/oder ein Anstieg der Temperatur über eine kritische Temperatur hinaus festgestellt wird.

Zur Bestimmung eines Bremsfadings an einer Radbremse werden verschiedene Parameter eingelesen, die den Betriebszustand der Radbremse, insbesondere das Reibverhalten der Radbremse, charakterisieren. Dazu stellt in der Figur 1 der Block 115 ein System von Temperatur- und/oder Reibwertsensoren an den Radbremsen dar.

Möglich ist dabei weiterhin, dass mit den Temperatursensoren sowohl einzelne Reibpartner, als auch beide Reibpartner hinsichtlich der Temperatur überwacht werden.

Der Block 115 liefert somit Temperaturwerte $T_{B,i}$ (117) und/oder Reibwerte μ_i (117) der einzelnen Radbremsen i . Neben den Temperaturen bzw. Reibwerten der einzelnen Radbremsen kann auch der Verschleiß V_i (122) der Bremsbeläge als Maß für die Beanspruchung der Radbremse herangezogen werden. Dazu wird in Block 120 ein Verschleißsensor und/oder ein Verschleißmodell abgefragt, welches den momentanen Verschleiß V_i (122) an der Radbremse i an die zentrale Prozesseinheit 105 weiterleitet.

Bei der Auswahl der geeigneten Maßnahmen zur Erhöhung des Reibwertes an den Radbremsen bzw. zur Verminderung der Temperatur an den Radbremsen wird der aktuelle Betriebszustand 127 bzw. die aufgrund der Bremsanforderung entstehenden Bremsansteuerungen 127 an den einzelnen Radbremsen aus der Ansteuerung der Bremsanlage im Block 125 in der zentralen Prozesseinheit 105 eingelesen. Durch das Einlesen der Betriebsdaten 127 der Bremsanlage 125 kann eine momentane Verzögerung der Radbremsen ermittelt werden. Bremsanlagen bestehen auch aus Radbremsen.

Neben der Betätigung der Bremsanlage bzw. der Radbremsen kann auch durch eine Reduzierung der Motorleistung eine Verzögerung des Fahrzeugs erreicht werden. Um das Potential einer modifizierten Motorsteuerung abzuschätzen, wird der Betriebszustand des Motors 130 bzw. dessen Ansteuerung ebenfalls in der zentralen Prozesseinheit 105 eingelesen. Bestimmte nachfolgend beschriebene Maßnahmen können jedoch nur bei ganz bestimmten Fahrsituationen durchgeführt werden. Für ein mögliches Entscheidungskriterium, um zu entscheiden, in welcher Fahrsituation sich das Fahrzeug

befindet, kann die mit der Lenkung 135 verbundenen Lenkanforderungen 137 durch den Fahrer und/oder durch eine weitere, zur Lenksteuerung im Fahrzeug vorhandene Komponente genutzt werden. Neben den Lenkanforderungen können auch die Bremsanforderungen, beispielsweise durch ein ABS, ASR, ESP oder einer ACC zur Erkennung einer bestimmten Fahrsituation herangezogen werden.

Sind in dem Fahrzeug Komponenten untergebracht, die zur Energieaufnahme im laufenden Fahrzeugbetrieb genutzt werden können, wie beispielsweise Startergenerator, Motorbremse, Radbremse, etc., so kann der Betriebszustand 145 dieser Komponenten 147 ebenfalls als Entscheidungsparameter zur Auswahl der einzuleitenden Maßnahmen aufgenommen werden.

Eine Information über den Ladezustand 142 der Batterie 140 kann aus mehreren Gründen in der zentralen Prozesseinheit 105 verwendet werden. In Verbindung mit energieaufnehmenden Komponenten kann so der Ladezustand der Batterie 140 bis zur maximalen Ladung erhöht werden. Sind die Radbremsen in dem Fahrzeug darüber hinaus auch direkt oder indirekt elektrisch ansteuerbar (zum Beispiel durch eine elektrohydraulische oder elektromotorische Bremse), so kann der Ladezustand 142 der Batterie 140 auch etwas über die maximal erzeugbare Bremswirkung an den Radbremsen aussagen.

In der zentralen Prozesseinheit 105 werden die aufgenommenen Parameter und/oder die Betriebszustände der im Fahrzeug vorhandenen und berücksichtigten Fahrzeugkomponenten bzw. Systeme mit Schwellenwerten verglichen, um ein Absinken des Reibwerts an den einzelnen Radbremsen und/oder ein Ansteigen der Temperatur an den Reibpartnern der Radbremsen festzustellen. Die für die individuellen Radbremsen geltenden Schwellenwerte der Temperatur $SW_{T,i}$, des Reibwertes $SW_{\mu,i}$ und des Verschleißes $SW_{v,i}$ werden aus dem nichtflüchtigen Speicher 190 eingelesen. In diesem nichtflüchtigen Speicher 190 können die entsprechenden Schwellenwerte bei Montage des Fahrzeugs und/oder eines Austauschs der Radbremsen und/oder der Bremsbeläge, beispielsweise während eines Werkstattaufenthalts 199 bzw. einem routinemäßigen Serviceaufenthalt 199 eingespeichert werden. In der zentralen Prozesseinheit 105 werden anhand der eingelesenen Parameter und der Betriebszustände der Fahrzeugkomponenten, die auf die Radbremsen eine Auswirkung haben können, Plausibilitätsabfragen durchgeführt. Wird bei dieser Abfrage festgestellt, dass wenigstens eine Radbremse einen verminderten Reibwert und somit eine verminderte Bremsfähigkeit aufweist, so werden

nach dem im nachfolgenden beschriebenen Schema verschiedene Maßnahmen gegeneinander abgewogen, die zu einer Verbesserung der Bremsfähigkeit an der betroffenen Radbremse aber auch des gesamten Fahrzeugs führen. Darüber hinaus besteht mit einer entsprechenden Einrichtung 160 die Möglichkeit, den Fahrer sowohl optisch und/oder akustisch, über die reduzierte Bremsfähigkeit der betroffenen Radbremse zu informieren. Dadurch wird dem Fahrer ermöglicht, sein Fahrverhalten aktiv den Umständen anzupassen.

Werden in einem Fahrzeug zusätzlich zur Bremsanlage weitere Komponenten genutzt, um eine Fahrzeugverzögerung zu realisieren, so können dadurch die Bremsen thermisch entlastet und ein starkes Absinken des Reibwertes an den Radbremsen verhindert werden. Je nach Fahrsituation und Betriebszustand der einzelnen im Fahrzeug vorhandenen Komponenten können so einzelne Maßnahmen zusätzlich oder alternativ zu den Reibungsbremsen das Fahrzeug verzögern.

Bei den vorgesehenen Maßnahmen handelt es sich dabei im vorliegenden Ausführungsbeispiel beispielsweise um die Verwendung von energieaufnehmenden Systemen 175. Dabei kann die Umwandlung von kinetischer Energie des Fahrzeugs in elektrische Energie, beispielsweise mit Hilfe eines Startergenerators, der zur Abbremsung des Fahrzeugs als Generator betrieben wird, vorgenommen werden. Dieser Vorgang wird mit dem Begriff der Rekuperation beschrieben. Für den Fall, dass die Batterie 140 bzw. der Energiespeicher bereits gefüllt ist, können auch zusätzliche elektrische Verbraucher automatisch zugeschaltet werden, beispielsweise das Licht oder die Heizung, um die wiedergewonnene Energie abzuleiten.

Weiterhin kann durch eine Modifizierung der Motoransteuerung 180 der Motor gedrosselt und durch die damit erreichte Reduzierung des Antriebs eine Verzögerung des Fahrzeugs erreicht werden. Die Drosselung des Motors arbeitet somit als Motorbremse.

Durch die in der zentralen Prozesseinheit 105 durchgeführten Plausibilitätsabfragen kann zusätzlich ein „Missbrauch“ wie beispielsweise eine gleichzeitige Betätigung des Brems- und des Gaspedals hinterfragt werden. Eine Verminderung der durch das Gaspedal erfolgten Antriebsanforderung an den Motor bei gleichzeitiger Bremsanforderung kann dabei stufenweise vermindert bzw. vollständig abgeschaltet werden. Eine Reduzierung der Motorleistung ist ebenfalls angebracht, wenn mehrmaliges schnelles Beschleunigen und anschließendes Abbremsen innerhalb einer gewissen Zeit auftritt. Daher kann eine

Überhitzung der Bremse verhindert werden, indem die Motorleistung für eine beschränkte Zeit elektronisch begrenzt wird, falls sich die Bremse in Richtung eines thermisch kritischen Zustands bewegt.

5 Eine weitere mögliche Maßnahme zur Entlastung einzelner Radbremsen stellt die zeitweise Umverteilung der gesamten Bremskraft auf nur drei oder zwei Radbremsen dar. Dabei ist es möglich, ein oder zwei Radbremsen zeitweise komplett zu entlasten, so dass bei diesen Radbremsen eine Überhitzung vermieden werden kann. Zwar ist in dieser Phase die Aufheizgeschwindigkeit der betätigten Radbremsen größer als bei der
10 gleichmäßigen Betätigung aller Radbremsen, jedoch kann durch eine alternierende Betätigung der Radbremsen die Maximaltemperatur jeder einzelnen Radbremse reduziert werden. Die Ursache liegt darin, dass bei den nicht betätigten Bremsen zeitweise eine größere Oberfläche für die Abgabe thermischer Energie zur Verfügung steht (abgehobene Beläge). Unter Verwendung eines elektronischen Stabilitätsprogramms (ESP) kann auch
15 bei alternierender Betätigung der Radbremsen die Fahrstabilität aufrecht erhalten werden. Insgesamt lässt sich mit dieser Strategie zum einen das Fading der Radbremsen vermeiden und zum anderen aufgrund der geringeren Temperaturen auch der Gesamtverschleiß der Bremsbeläge reduzieren. Darüber hinaus kann mit dieser Strategie der Bremsbelagverschleiß der Bremsanlage auf alle Beläge gleichmäßig verteilt werden.
20 Die Folge davon ist, dass die Wechselintervalle ausgedehnt werden können und sich die Wartungskosten reduzieren.

Neben einer alternierenden Ansteuerung der Radbremsen kann jedoch auch generell eine Umverteilung der Bremskraft von den Bremsen der Vorderachse auf die Bremsen der
25 Hinterachse erfolgen. Die Verteilung der Bremskraft zwischen der Vorder- und der Hinterachse bei konventionellen Bremsanlagen führt dazu, dass Bremsen an der Hinterachse wesentlich weniger Bremsleistung aufbringen, als die Bremsen an der Vorderachse. Dem wird dadurch Rechnung getragen, dass die Bremsen an der Hinterachse mit kleineren Bremsscheiben und kleineren Bremsbelägen als die Bremsen
30 an der Vorderachse ausgerüstet sind. Durch die kleinere Bremsscheiben besitzen die Bremsen an der Hinterachse eine geringere Wärmekapazität. Würde, wie bei aktuellen Bremsanlagen und vor allem bei Brake-By-Wire-Systemen, die Bremskraftverteilung zwischen Vorder- und Hinterachse dynamisch an die aktuelle Fahrsituation angepasst, so würde das eine durchschnittlich höhere Temperaturerhöhung an den Bremsen der
35 Hinterachse nach sich ziehen. Erhöht man nun an den Radbremsen der Hinterachse die Wärmekapazität durch größere Bremsscheiben, so können die Bremsen der Vorderachse

entlastet werden und die Bremsanlage insgesamt so auf einem niedrigeren Temperaturniveau betrieben werden.

5 Zur Durchführung der beschriebenen modifizierten Bremsenansteuerung werden von der zentralen Prozesseinheit 105 entsprechende Bremssteuersignale 187 an die Bremsanlagensteuerung 185 weitergeleitet. In der Bremsanlagensteuerung 185 können dann in Verbindung mit den Bremsanforderungen durch den Fahrer bzw. durch automatische Bremssysteme (z.B. ESP, ABS, ACC, ASR, etc.) entsprechende Bremssteuersignale ermittelt und die Bremsanlage gesteuert werden.

10 Mit der Figur 2 wird in einem Flussdiagramm der Vergleich der aufgenommenen Temperatur-, Reibwert- und/oder Verschleißparameter mit den für die Radbremsen kritischen Schwellenwerten $SW_{T,i}$, $SW_{\mu,i}$, $SW_{V,i}$ dargestellt. Zur Reduzierung des Bremsfadings, werden weiterhin die Betriebszustände 127, 132, 137, 142, 147 der infrage kommenden Fahrzeugkomponenten Bremsanlage 125, Motor bzw. Motorsteuerung 130, Lenkung 135, Batterie 140 und energiegewinnende Systeme 145 eingelesen, um abzufragen, inwieweit die Komponenten angesteuert werden können.

20 Nach dem Start des Algorithmus in Figur 2 wird in Schritt 200 die Bremsanforderung F_B (112), die durch den Fahrer und/oder durch ein die Bremsanlage steuerndes System 110 hervorgerufen wird, abgefragt. Wird ein gesetztes Flag F_B (d.h. $F_B = 1$) festgestellt, so wird eine Bremsanforderung festgestellt und der Algorithmus mit Schritt 210 weiter bearbeitet. Liegt jedoch keine Bremsanforderung vor, d.h. wird in Schritt 200 ein ungesetztes Flag F_B (d.h. $F_B = 0$) festgestellt, so wird der Algorithmus beendet. In Schritt 210 werden die Temperaturen $T_{B,i}$ (117), die Reibwerte μ_i (117) und/oder der Verschleiß V_i (122) mit entsprechenden Sensoren und/oder Modellen (115 bzw. 120) an den Radbremsen i erfasst. Der Wert des Verschleißes V_i (122) kann dabei sowohl von einem Sensor 120, aber auch durch ein geeignetes Verschleißmodell 120 erfasst werden. Im anschließenden Schritt 220 werden die so erfassten Parameter 117 bzw. 122 mit den aus dem nicht flüchtigen Speicher 190 eingelesenen entsprechenden Schwellenwerten $SW_{T,i}$ und/oder $SW_{\mu,i}$ und/oder $SW_{V,i}$ verglichen. Die Schwellenwerte stellen dabei jeweils einen noch maximal zulässigen Wert dar, bei dem an den Radbremsen noch keine Gefahr des Bremsfadings zu beobachten ist. Bei Modifikation der Bremsanlage, beispielsweise durch den Austausch von Radbremsen oder Bremsbelägen, kann es erforderlich sein, dass neue Schwellenwerte gelten. Deshalb ist vorgesehen, die Daten im Speicher 190 durch einen externen Zugriff 199 zu aktualisieren.

Im folgenden soll zur vereinfachten Darstellung der Algorithmus in Figur 2 anhand der Überwachung der Temperatur $T_{i,j}$ an einer Radbremse i dargestellt werden. Entsprechend kann der Algorithmus jedoch auch zur Überwachung des Reibwertes μ_i (117) und/oder des Verschleiß V_i (122) genutzt werden. Zusätzlich können beim Verschleiß V_i (122) auch unterschiedliche Verschleißmarken überwacht werden, wobei jeweils unterschiedliche Schwellenwerte $SW_{V,i}$ im Speicher 190 abgelegt sein können.

In Schritt 220 wird der erfasste Temperaturwert $T_{i,j}$ mit dem eingelesenen Schwellenwert $SW_{T,i}$ verglichen. Dabei stellt der Schwellenwert $SW_{T,i}$ eine kritische Temperatur des bzw. der betrachteten Reibungspartner dar. Wird diese kritische Temperatur $SW_{T,i}$ nicht überschritten, so wird der Algorithmus beendet. Liegt die momentane Temperatur $T_{B,i}$ jedoch oberhalb dieser kritischen Temperatur $SW_{T,i}$, so wird in Schritt 230 mit

$$\Delta t = T_{i,j} - SW_{T,i}$$

die Temperaturdifferenz zum Schwellenwert $SW_{B,i}$ ermittelt. Im nachfolgenden Schritt 240 wird daraufhin anhand des erkannten Überschreitens der kritischen Grenztemperatur $SW_{T,i}$ überprüft, welche Gegenmaßnahmen zur Senkung der Bremsentemperatur $T_{i,j}$ und damit zur Erhöhung des Reibwertes μ_i durchgeführt werden können. Eine Entscheidung, welche der erwähnten Maßnahmen eingeleitet werden, kann beispielsweise in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz Δt und/oder von einer vorher festgelegten Rangfolge erfolgen.

Neben der Vermeidung von Fading ist es aufgrund der Erfassung des Zustands des gesamten Bremssystems auch nützlich und sinnvoll, den Fahrer über den Zustand des Bremssystems zu informieren und bei sehr stark beanspruchten Bremsen entsprechend zu warnen. Möglich ist dies durch optische und/oder akustische Hinweise, insbesondere aber auch durch eine „Verschlechterung“ des Pedalgefühls (haptisches Pedalverhalten). Um eine bestimmte Verzögerung zu erreichen, ist bei stark beanspruchten Bremsen eine höhere Pedalkraft erforderlich als im Standardbetriebsfall.

Bei den eingeleiteten Maßnahmen kann weiterhin der Zustand aller Radbremsen berücksichtigt werden. So wird erkannt, ob lediglich eine Radbremse oder mehrere Radbremsen die kritische Temperatur überschreiten oder nahezu erreichen. Steht die

Möglichkeit der Energierekuperation zur Verfügung, so kann beispielsweise der Ladezustand der Batterie abgefragt werden. Besteht noch Ladekapazität, so können die energieaufnehmenden Systeme des Fahrzeugs kinetische Energie in elektrische Energie umwandeln und somit die Verzögerung unabhängig von den Reibungsbremsen unterstützen. Gegebenenfalls ist bei vollständig geladener Batterie eine Zuschaltung von Verbrauchern denkbar. Um die Fahrstabilität nicht unnötig zu gefährden, ist die Energierekuperation jedoch vorwiegend bei Bremsvorgängen während Geradeausfahrt einsetzbar. Eine entsprechende Information, ob sich das Fahrzeug in einer Kurven- oder Geradeausfahrt befindet, erhält man beispielsweise aus dem Lenksystem 135. Eine zeitweise Entlastung einzelner Radbremsen ist dagegen hauptsächlich dann durchführbar, wenn einzelne Radbremsen im Vergleich zu den restlichen Radbremsen über die Maßen beansprucht werden. Eine Reduzierung der Motorleistung und die Verwendung des Motors als Motorbremse ist jedoch in den meisten Fällen ohne Einschränkung der Fahrstabilität denkbar.

Eine allgemeine Modifikation der Ansteuerung der Bremsanlage, gleichgültig ob zur Verbesserung der Bremsenergierekuperation oder zur Verringerung des Bremsfadings, ist situationsabhängig. So kann die Bremskraftverteilung während einer Bremsung in einer Kurvenfahrt nur bedingt modifiziert werden. Für die Situationserkennung sind die fahrdynamischen Sensorsignale aus dem elektronischen Stabilitätsprogramm (ESP), das derzeit bei vielen Fahrzeugen schon zur Serienausstattung gehört, sehr hilfreich. Sie erlauben eine gezielte Modifikation der Bremskraftverteilung im Hinblick auf die erkannte Fahrsituation.

Wie schon erwähnt wurde, stellt die Energierekuperation ein spezielles Ausführungsbeispiel der Erfindung dar. Dabei ist es notwendig, dass die Fahrzeuge mit Systemkomponenten ausgestattet sind, die eine Energierückgewinnung und somit eine Aufnahme und Umwandlung der kinetischen Energie der Fahrzeugbewegung in elektrische Energie ermöglichen. Durch diese Umwandlung wird das Fahrzeug zusätzlich und/oder alternativ zu Reibungsbremsen verzögert. Beispielsweise wird bei einem Fahrzeug mit (Elektro-)Hybridantrieb der Verbrennungsmotor mit mindestens einem Elektromotor kombiniert. Somit kann bei Bremsvorgängen der Elektromotor generatorisch betrieben werden. Weiterhin kann die aufgenommene mechanische (Brems-)Energie vom Elektromotor in elektrischen Strom umgewandelt werden. Dieser elektrische Strom kann dann die Fahrbatterie laden und/oder das Bordnetz speisen

(Bremsenergierekuperation). Ein wesentlicher Vorteil bei diesem Verfahren ist, dass sich dadurch der Kraftstoffverbrauch wesentlich verringern lässt.

Da nur die Bremsenergie der Antriebsräder rekuperiert werden kann, ist bei heckgetriebenen Fahrzeugen nur die Bremsenergie der Hinterräder nutzbar. Der Anteil der Bremskraft an der Hinterachse wird dabei durch eine Bremskraftverteilung (BKV) bestimmt. Dabei ist die Bremskraftverteilung entscheidend für die Stabilität eines Fahrzeugs während einer Bremsung. Um das Schleudern eines Fahrzeugs zu vermeiden, muss die BKV in der Regel sicher stellen, dass die Hinterräder nicht vor den Vorderrädern überbremst werden. Normalerweise strebt man eine BKV an, bei der die Kraftschlussausnutzung an Vorder- und Hinterrädern gleich ist, d.h. das Verhältnis von Bremslast zu Radlast bei beiden Achsen gleich. Die nutzbare Bremsenergie ist also umso größer, je größer die Radlast der Hinterräder ist. Diese ist bei Fahrzeugen mit Standardantrieb (Motor vorne, Antrieb hinten) aber leider relativ gering. Das liegt zum einen daran, dass der relativ schwere Motor wesentlich stärker auf der Vorderachse, als auf der Hinterachse lastet. Zum anderen wird die Hinterachse mit zunehmender Verzögerung in Folge der Nickbewegung des Fahrzeugs immer stärker entlastet. Dies führt dazu, dass bei idealer Bremskraftverteilung je nach Verzögerung weit weniger als die Hälfte der gesamten Bremsenergie rekuperiert werden kann. Um einen möglichst großen Anteil der Bremsenergie in elektrische Energie umzuwandeln, wird bei einer modifizierten BKV der Bremskraftanteil der Hinterachse über den Wert für die ideale BKV hinaus erhöht, wenn es die Fahrsituation erlaubt. Durch den höheren Bremskraftanteil der Hinterachse wird somit mehr Bremsenergie nutzbar und der Kraftstoffverbrauch des Fahrzeugs sinkt entsprechend. Dabei ist zu beachten, dass die Erhöhung des Bremskraftanteils der Hinterachse nur bei Fahrzeugen mit Blockierverhinderern, wie beispielsweise einem Antiblockiersystem (ABS) gesetzlich erlaubt ist. Weiterhin ist davon auszugehen, dass Fahrzeuge, die mit der vorliegenden Erfindung ausgestattet sind, als höherwertige Fahrzeuge darüber hinaus über ein ESP verfügen.

Fahrzeuge mit Standardantrieb haben den Motor vorne und die Antriebsräder hinten. Diese Fahrzeuge haben eine für die Bremsenergierekuperation ungünstige statische Radlastverteilung (zum Beispiel 60% vorne und 40% hinten). Die dynamische Radlastverteilung wird mit zunehmender Verzögerung noch schlechter, d.h. weniger als die Hälfte der Bremsenergie ist durch die Rekuperation nutzbar.

Ein Brake-By-Wire-System, wie es beispielsweise mit der elektrohydraulische Bremse (EHB) realisiert werden kann, bietet für die Bremsenergierekupuration erhebliche Vorteile, da hydraulisches und generatorisches Bremsen relativ einfach koordiniert werden können. Die Ermittlung der BKV übernimmt bei solchen Systemen
5 normalerweise ein Mikroprozessor, mit dessen Hilfe sich relativ leicht die Erfindung durch eine Modifikation des bestehenden BKV-Programms realisieren lässt.

Mit der nachfolgenden Beschreibung eines weiteren Ausführungsbeispiels der Erfindung, kann eine für eine Bremsenergierekupuration geeignete Bremsmomentenverteilung
10 erreicht werden.

Figur 3 stellt eine Erweiterung für den konkreten Fall der Energierekupuration des in Figur 1 beschriebenen Ausführungsbeispiels dar. Dabei entspricht der Block 305 der zentralen Prozesseinheit Block 105, sowie der Speicher 390 dem in Figur 1 dargestellten Speicher 190, in dem applizierbare Größen abgelegt werden können. Durch eine
15 Veränderung der Bremsanlage kann es sinnvoll sein, diese Größen zu modifizieren. Aus diesem Grund ist eine Modifikationsmöglichkeit durch einen externen Zugriff 399 vorgesehen.

Mittels der zentralen Prozesseinheit 305 wird eine Modifizierung einer Bremskraftverteilung zur Energierückgewinnung in energieaufnehmenden Komponenten des Fahrzeug durchgeführt. Dabei kann vorgesehen sein, dass die Bremskraftverteilung unabhängig von der in der vorliegenden Erfindung beschriebenen Ausführungsbeispiele Sollbremsmomente an die Radbremsen liefert oder in die Erfindung integriert ist. Im
20 ersten Fall werden die aus der im Fahrzeug befindlichen Bremskraftverteilung 340 berechneten Sollbremsmomente M_{HL} (342), M_{HR} (344), M_{VL} (346), M_{VR} (348) in die zentrale Prozesseinheit 305 eingelesen. Dabei steht der Index H für ein Bremsmoment an der hinteren Radachse und V für ein Bremsmoment an der vorderen Radachse. Weiterhin ist mit dem Index L ein Rad auf der linken Seite des Fahrzeugs und mit dem Index R ein
25 Rad auf der rechten Seite des Fahrzeugs bezeichnet. Die modifizierten Bremsmomente (362 bis 368) werden nach der Bestimmung der Vorlage einer geeigneten Fahrsituation von der zentralen Prozesseinheit 305 an die Bremsensteuerung 360 weitergeleitet.
30

Zur Modifikation der Bremsmomente an den verschiedenen Rädern werden in der zentralen Prozesseinheit 305 verschiedene Größen (312, 317, 322, 327, 332) eingelesen,
35

die standardmäßig im Fahrzeug in verschiedenen Systemen erzeugt werden. Dabei handelt es sich beispielsweise um den Lenkwinkel L_w (312), der durch die Lenksteuerung 310 bereit gestellt wird. Diese Lenksteuerung 310 kann den Lenkwinkel auf Grund einer durch den Fahrer und/oder durch ein automatisches Lenksystem aufgebrachten Lenkanforderung erzeugen. Aus dem Gierratensensor 315 kann die Giergeschwindigkeit v_{gi} (317) erfasst werden. Weiterhin kann mit einem entsprechenden Radsensor 320 die Querschleunigung a_y (322) des Fahrzeugs ermittelt werden. Standardmäßig wird die Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Fahrzeug} (327) in verschiedenen Systemen 325 des Fahrzeugs beispielsweise aufgrund der durch Raddrehzahlsensoren erfassten Größen gebildet. Die nutzbare Radbremsleistung P_{max} (332) wird durch die Komponenten und den Betriebszustand des Fahrzeugs bestimmt. Weitere wichtige Einflussgrößen zur Bestimmung der nutzbaren Radbremsleistung sind dabei die Leistungsfähigkeit und der Wirkungsgrad der E-Maschinen, der Getriebewirkungsgrad und der maximal zulässige Batteriestrom sowie die Funktionsfähigkeit der Radbremsen. Eine entsprechende Komponente 330, beispielsweise eine Antriebsstrangsteuerung, berücksichtigt diese Einflussgrößen und stellt die nutzbare Radbremsleistung P_{max} (332) zur Verfügung. Mit diesen erfassten Parametern 312, 317, 322, 327, 332 ergibt sich das maximal nutzbare Hinterachsbremsmoment zu:

$$M_{\text{max}} = P_{\text{max}} / v_{\text{Fahrzeug}} \cdot$$

Bei Fahrzeugstillstand ist Rekuperation nicht möglich und somit wird $P_{\text{max}} = 0$ bzw. $M_{\text{max}} = 0$.

Mit der Berücksichtigung eines Grundbremsmoment M_{Grund} , das zum Beispiel dazu dient, die Bremsbeläge während einer Bremsung an die Bremsscheibe anzulegen und somit bei schnellen Bremsanforderungen Zeit zu sparen, erhält man als Wunschbremsmoment, beispielsweise für das hintere linke Rad

$$M_{\text{HL}}^* = M_{\text{max}} / 2 + M_{\text{Grund}}$$

bzw. entsprechend für das Rad hinten rechts

$$M_{\text{HR}}^* = M_{\text{HL}}^*$$

Mit zunehmendem Bremsmoment steigt insbesondere an der Hinterachse des Rades das Risiko, eine Überbremsung des Rades hervorzurufen. Die dann einsetzende ABS-Regelung muss das Bremsmoment, je nach Reibwert zwischen Fahrbahn und Reifen, mehr oder weniger stark reduzieren. Da eine starke Bremsmomentenreduktion mehr Zeit benötigt, als eine geringe, sind hohe Bremsmomente an den Hinterrädern möglichst zu vermeiden. Deshalb wird die Anhebung des Hinterachsbremskraftanteils durch die applizierbare Kraftschlussbeanspruchung $K_{\mu_{\max}}$ auf

$$M_{HL}^{**} = \min (M_{HL}^* , K_{\mu_{\max}} \cdot F_{N,HL} \cdot K_{r_{Rad}}) \text{ bzw.}$$
$$M_{HR}^{**} = \min (M_{HR}^* , K_{\mu_{\max}} \cdot F_{N,HR} \cdot K_{r_{Rad}})$$

begrenzt. Dabei stellen $F_{N,HL}$ und $F_{N,HR}$ die dynamischen Radlasten hinten links und hinten rechts, sowie $K_{r_{Rad}}$ den dynamischen Radradius dar.

Aus Sicherheitsgründen wird an der Vorderachse ein Mindestbremsmoment (M_{VL} und M_{VR}) gefordert. Daraus ergeben sich die Bremsmomente an der Hinterachse zu:

$$M_{HL}^{***} = \min (M_{HL}^{**} , M_{HL} + K_{V_{Mind}} \cdot \frac{M_{VL} + M_{VR}}{2})$$

$$M_{HR}^{***} = \min (M_{HR}^{**} , M_{HR} + K_{V_{Mind}} \cdot \frac{M_{VL} + M_{VR}}{2})$$

wobei $K_{V_{Mind}}$ einen Wert zwischen 0 und 1 annehmen kann. Ein Wert von $K_{V_{Mind}} = 0$ repräsentiert dabei eine Situation, bei der keine Erhöhung des Bremskraftanteils an der Hinterachse durchgeführt wird. Der Bremskraftanteil der Vorderachse bleibt somit unverändert. Dahingegen bedeutet ein Wert von $K_{V_{Mind}} = 1$, dass die Vorderachse ungebremst ist.

Bei Kurvenbremsungen wirken sich die dargestellten Maßnahmen zur Erhöhung des Hinterachsbremskraftanteils jedoch ungünstig auf das Fahrverhalten aus. Da die Gierreaktion des Fahrzeugs von der BKV abhängt, würde eine zeitliche Variation der Bremskraftverteilung dazu führen, dass das Fahrzeug während einer Kurvenbremsung unterschiedlich und damit für den Fahrer nicht gut berechenbar reagiert. Aus diesem

Grund werden die Wunschbremsmomente M_{HL}^{****} und M_{HR}^{****} ausgehend von M_{HL}^{***} und M_{HR}^{***} rampenförmig auf M_{HL} bzw. M_{HR} reduziert (siehe Figur 5), wenn der Betrag der Querbesehleunigung a_y (322) größer als ein applizierbarer Wert K_{ay} oder der Betrag der Giergesehwindigkeit v_{Gi} (317) größer als ein applizierbarer Wert K_{vGi} oder der Betrag des Lenkwinkels L_w (312) größer als ein applizierbarer Wert K_{Lw} ist:

$$\begin{aligned} |a_y| &> K_{ay} \\ |v_{Gi}| &> K_{vGi} \\ |L_w| &> K_{Lw} \end{aligned}$$

Die Rampensteigung wird durch den applizierbaren Parameter K_{rab} nach

$$\frac{dM}{dt} = K_{rab}$$

festgelegt.

Wird nach einer Kurvenbremsung wieder eine Geradeausbremsung durchgeführt, so entfallen die genannten Querdynamikbedingungen und die Momente M_{HL}^{****} bzw. M_{HR}^{****} steigen rampenförmig mit der Steigung K_{Rauf} von M_{HL} und M_{HR} ausgehend bis zu M_{HL}^{***} bzw. M_{HR}^{***} an.

Bei der Modifikation der Bremskraftanteile der Hinterachse sollen lediglich Maßnahmen durchgeführt werden, bei denen die Bremsmomente erhöht werden, nicht jedoch reduziert werden. Aus diesem Grund werden die resultierenden Wunschbremsmomente M'_{HL} und M'_{HR} nach unten durch M_{HL} und M_{HR} gemäß

$$\begin{aligned} M'_{HL} &= \max (M_{HL}^{****}, M_{HL}) , \\ M'_{HR} &= \max (M_{HR}^{****}, M_{HR}) . \end{aligned}$$

begrenzt.

Die Begrenzung der möglichen Sollbremsmomente an der Hinterachse kann anhand der Figur 5 verdeutlicht werden. Während bei einer Geradeausfahrt die modifizierten Sollbremsmomente M_{HL}^{***} bzw. M_{HR}^{***} verwendet werden, wird in einer Kurvenfahrt auf die ursprünglichen, durch die BKV ermittelten Sollbremsmomente M_{HL} bzw.

M_{HR} zurückgegriffen. Dabei stellen die modifizierten Sollbremsmomente die oberen Grenzwerte und die ursprünglichen Sollbremsmomente die unteren Grenzwerte der Momenteneinstellung an den Radbremsen dar. Bei der kontinuierlichen Anpassung der ursprünglichen d.h. nicht modifizierten an die modifizierten Sollbremsmomente bzw. umgekehrt, werden die angepassten Sollbremsmomente M_{HL}^{****} bzw. M_{HR}^{****} zwischen diesen beiden Grenzwerten M_{HL}^{***} bzw. M_{HR}^{***} und M_{HL} bzw. M_{HR} so gewählt, dass ein stetiger Übergang zwischen den Momenteneinstellungen an den Radbremsen zu beobachten ist. Durch diesen steten Übergang wird ein plötzlicher Sprung in der Ansteuerung und damit eine Beeinträchtigung des Fahrverhaltens und der Fahrstabilität verhindert.

Damit sich die Fahrzeugverzögerung in Folge der Bremskraftverschiebung auf die hintere Fahrzeugachse nicht ändert, muss die Summe der Radbremsmomente unverändert bleiben. Für das Vorderachsbremsmoment M_{VA}' ergibt sich somit:

$$M_{VA}' = M_{HL} + M_{HR} + M_{VL} + M_{VR} - M_{HL}' - M_{HR}'$$

Unter der Annahme, dass die Kraftschlussbeanspruchung der beiden Vorderräder gleich sein soll, gelten die beiden Gleichungen:

$$M_{VA}' = M_{VL}' + M_{VR}'$$

und

$$\frac{M_{VL}'}{F_{N,VL}} = \frac{M_{VR}'}{F_{N,VR}}$$

für die beiden Bremsmomente M_{VL}' und M_{VR}' , wobei $F_{N,VL}$ und $F_{N,VR}$ die dynamischen Radlasten des linken und des rechten Vorderrades repräsentieren. Aus diesen beiden Gleichungen folgen für die Bremsmomente M_{VL}' und M_{VR}' :

$$M_{VL}' = M_{VA}' \cdot \frac{F_{N,VL}}{F_{N,VL} + F_{N,VR}}$$

und

$$M_{VR}' = M_{VA}' \cdot \frac{F_{N,VR}}{F_{N,VL} + F_{N,VR}}$$

Alternativ kann der Ansatz gewählt werden, dass die bisherige Bremsmomentaufteilung zwischen dem linken und dem rechten Vorderrad erhalten bleiben soll, d.h.:

$$\frac{M_{VL}}{M_{VL} + M_{VR}} = \frac{M_{VL}'}{M_{VA}'}$$

und

$$\frac{M_{VR}}{M_{VL} + M_{VR}} = \frac{M_{VR}'}{M_{VA}'}$$

Daraus folgt für die beiden Vorderradbremsmomente

$$M_{VL}' = M_{VA}' \cdot \frac{M_{VL}}{M_{VL} + M_{VR}}$$

und

$$M_{VR}' = M_{VA}' \cdot \frac{M_{VR}}{M_{VL} + M_{VR}}$$

In Figur 4 wird die Modifikation der Bremsmomente auf Grund einer Energierekuperation dargestellt. Nach dem Start des Algorithmus wird im Schritt 400 überprüft, ob die Fahrsituation und/oder die zur Energierekuperation benötigten Fahrzeugkomponenten zur Verfügung stehen. Ist das nicht der Fall, so wird der Algorithmus beendet. Wenn beide Bedingungen erfüllt sind, wird in Schritt 410 eine Modifikation der Bremsmomente wie vorstehend beschrieben durchgeführt und an die Bremsensteuerung 360 weitergeleitet. In Schritt 420 wird der Ladezustand der Batterie überprüft. Dabei wird die maximale Ladung der Batterie überprüft. Besteht die Möglichkeit, die durch die Energierekuperation gewonnene Energie in die Batterie einzuspeisen, so wird das in Schritt 430 durchgeführt. Befindet sich die Batterie jedoch

schon am maximalen Ladepunkt bzw. hat die Batterie ihren maximalen Ladezustand erreicht, so werden in Schritt 440 Verbraucher im Fahrzeug angesteuert, die die zurück gewonnene Energie abführen. Dies kann beispielsweise das Fahrzeuglicht und/oder eine Heizung im Fahrzeug sein.

5

In einem weiteren Ausführungsbeispiel kann bereits in Schritt 400 überprüft werden, ob die Batterie durch die Energierekuperation geladen werden kann, oder nicht. Dabei wird beispielsweise die Energierekuperation nur dann betrieben, wenn die Batterie noch Ladekapazität besitzt. Weiterhin kann überprüft werden, ob neben der Batterie noch andere Verbraucher des Fahrzeugs hinzugeschaltet werden können, um die gewonnene Energie abzuleiten.

10

Bezugszeichenliste

	F_B	Flag, das einen Bremsvorgang anzeigt
	$T_{B,i}$	Temperatur an den Reibpartner einer Radbremse i
5	μ_i	Reibwert zwischen den Reibpartner der Radbremse i
	$SW_{T,i}$	Temperatur-Schwellwert an der Radbremse i
	$SW_{\mu,i}$	Reibwert-Schwellwert an der Radbremse i
	$SW_{V,i}$	Verschleiß-Schwellwert an der Radbremse i
	112	Bremsanforderung F_B
10	115	Temperatur-, und/oder Reibwertsensoren an den Reibpartner der Radbremsen
	117	Temperatur $T_{B,i}$ an den Reibpartner und/oder Reibwert μ_i an der Radbremse i
	120	Verschleißmodell und/oder Verschleißsensoren an den Radbremsen
	122	Verschleißwerte V_i für die einzelnen Radbremsen
	125	Bremsanlage
15	127	Betriebszustand der Bremsanlage (Bremsleistung, momentane Verzögerung an den einzelnen Radbremsen)
	130	Motorsteuerung
	135, 310	Lenkung
	137, 312	Lenkwinkel L_w
20	140	Batterie
	142	Ladezustand der Batterie
	145	Energieaufnehmende Komponenten im Fahrzeug
	145	Betriebszustand der energieaufnehmenden Komponenten
	160	akustische und/oder optische Anzeige
25	175	energieaufnehmende Komponenten im Fahrzeug
	180	Motorsteuerung
	185	Bremsanlagensteuerung (u.a. Bremskraftverteilungssteuerung)
	190	Speicher der Schwellenwerte
	199	Werkstatt/Servicetechniker
30	315	System zur Ermittlung der Fahrzeuggierrgeschwindigkeit
	317	Gierrgeschwindigkeit v_{Gi}
	320	Reifensensoren zur Ermittlung der Querschleunigung eines Reifens
	322	Reifenquerschleunigung a_y
	325	System zur Ermittlung der Fahrzeuggeschwindigkeit

	327	Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Fahrzeug}
	332	Nutzbare Radbremseleistung P_{Max}
	340	Bremskraftverteilung (BKV)
	342 bis 348	Sollbremsmomente der BKV
5	362 bis 368	Modifizierte Sollbremsmomente

R. 305034

5

01.04.03 Gi/Kei

ROBERT BOSCH GMBH, 70442 Stuttgart

10

Ansprüche

15

1. Verfahren zur Überwachung und Steuerung der Bremsanlage eines Fahrzeugs, wobei vorgesehen ist, dass zur Überwachung wenigstens eine, die Bremslast wenigstens einer Radbremse repräsentierende, Bremsgröße erfasst wird, wobei vorgesehen ist, dass die Bremslast wenigstens die Verzögerung wenigstens eines Rades repräsentiert, dadurch gekennzeichnet, dass in Abhängigkeit

20

- von einem Vergleich (220, 400, 420) der erfassten Bremsgröße mit wenigstens einem vorgegebenen Schwellenwert, und
- von der Fahrsituation, und/oder
- vom Betriebszustand wenigstens einer im Fahrzeug befindlichen Fahrzeugkomponenten während eines Bremsvorgangs wenigstens eine geeignete Maßnahme durchgeführt wird, die
- die Verzögerung an wenigstens einer Radbremse modifiziert und
- die Gesamtverzögerung des Fahrzeugs konstant lässt oder nur unwesentlich verändert.

25

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als geeignete Maßnahme wenigstens

30

- eine Umverteilung der Bremslast wenigstens einer Radbremse auf andere Radbremsen des Fahrzeugs und/oder
- eine Entlastung der Radbremsen durch Nutzung von energieaufnehmenden Komponenten (175) des Fahrzeugs und/oder
- eine Modifikation der Motoransteuerung (182) vorgesehen ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Bremsgröße eine die Belastung der Radbremse während einer Bremstätigkeit repräsentierenden Größe vorgesehen ist, wobei insbesondere vorgesehen ist, als Bremsgröße

- eine die Temperatur an wenigstens einem der Reibpartnern der Radbremse repräsentierende Temperaturgröße (117) und/oder
- eine den Reibwert zwischen den Reibpartnern der Radbremse repräsentierende Reibwertgröße (117) und/oder
- eine Verschleißgröße (122), die den Verschleiß des Bremsbelags der Radbremse repräsentiert, und/oder
- eine Bremsleistung (127, 332) der Radbremse und/oder
- eine aktuelle Verzögerung der Radbremse

zu erfassen, wobei insbesondere vorgesehen ist, die zeitliche Änderung der Belastung der Radbremse zu erfassen.

4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Fahrsituation

- ein zeitliches Verhalten
 - der Bremsanforderung (127, 342 bis 348) durch
 - den Fahrer und/oder
 - eine zur Bremsenansteuerung im Fahrzeug vorhandenen Komponenten
 - der Lenkanforderung (137, 312) durch
 - den Fahrer und/oder
 - eine zur Lenksteuerung im Fahrzeug vorhandenen Komponenten

erfasst wird und/oder

- Plausibilitätsabfragen hinsichtlich der Ansteuerung und Belastung der im Fahrzeug vorhandenen Komponenten durchgeführt werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Fahrzeugkomponente wenigstens

- die Batterie (140) und/oder
- die Radbremsen und/oder
- der Motor (130)

vorgesehen ist, wobei insbesondere vorgesehen ist, als Betriebszustand der Fahrzeugkomponente wenigstens

- einen Ladezustand (142) der Batterie,
 - einen Funktionszustand der Radbremsen, insbesondere eine momentane Bremsleistung an den Radbremsen, und/oder
 - eine momentane Motorleistung (132)
- zu erfassen.

6. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Umverteilung der Bremslast auf energieaufnehmende Komponenten (175) eine Verlagerung der Bremskraftverteilung von den Radbremsen der nicht angetriebenen Achse zu den Radbremsen der angetriebenen Achse durchgeführt wird.

7. Vorrichtung zur Überwachung und Steuerung der Bremsanlage eines Fahrzeugs, wobei Mittel (100, 300) zur Überwachung vorgesehen sind, die wenigstens eine, die Bremslast wenigstens einer Radbremse repräsentierende, Bremsgröße erfassen, wobei vorgesehen ist, dass die Bremslast wenigstens die Verzögerung wenigstens eines Rades repräsentiert, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel (100, 300) vorgesehen sind, die in Abhängigkeit

- von einem Vergleich (220, 400, 420) der erfassten Bremsgröße mit wenigstens einem vorgegebenen Schwellenwert, und
- von der Fahrsituation, und/oder
- vom Betriebszustand wenigstens einer im Fahrzeug befindlichen Fahrzeugkomponenten während eines Bremsvorgangs wenigstens eine geeignete Maßnahme durchführen, die
- die Verzögerung an wenigstens einer Radbremse modifiziert und
- die Gesamtverzögerung des Fahrzeugs konstant lässt oder nur unwesentlich verändert.

8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass als geeignete Maßnahme wenigstens

- eine Umverteilung der Bremslast wenigstens einer Radbremse auf andere Radbremsen des Fahrzeugs und/oder
 - eine Entlastung der Radbremsen durch Nutzung von energieaufnehmenden Komponenten (175) des Fahrzeugs und/oder
 - eine Modifikation der Motoransteuerung (182)
- vorgesehen ist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass als Bremsgröße eine die Belastung der Radbremse während einer Bremstätigkeit repräsentierenden Größe vorgesehen ist, wobei insbesondere Mittel (105, 305) vorgesehen sind, die als Bremsgröße

- eine die Temperatur an wenigstens einem der Reibpartnern der Radbremse repräsentierende Temperaturgröße (117) und/oder
- eine den Reibwert zwischen den Reibpartnern der Radbremse repräsentierende Reibwertgröße (117) und/oder
- eine Verschleißgröße (122), die den Verschleiß des Bremsbelags der Radbremse repräsentiert,

und/oder

- eine Bremsleistung (127, 332) der Radbremse und/oder
- eine aktuelle Verzögerung der Radbremse

erfassen, wobei insbesondere vorgesehen ist, dass die Mittel die zeitliche Änderung der Belastung der Radbremse erfassen.

10. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel vorgesehen sind, die als Fahrsituation

- ein zeitliches Verhalten

- der Bremsanforderung (127, 342 bis 348) durch

- den Fahrer und/oder

- eine zur Bremsenansteuerung im Fahrzeug vorhandenen Komponenten
- und/oder

- der Lenkanforderung (137, 312)

- durch den Fahrer und/oder

- eine zur Lenksteuerung im Fahrzeug vorhandenen Komponenten
- erfassen

und/oder

- Plausibilitätsabfragen hinsichtlich der Ansteuerung und Belastung der im Fahrzeug vorhandenen Komponenten durchführen.

11. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass als Fahrzeugkomponente wenigstens

- die Batterie (140) und/oder
- die Radbremsen und/oder
- der Motor (130)

vorgesehen ist, wobei insbesondere Mittel vorgesehen sind, die als Betriebszustand der Fahrzeugkomponente wenigstens

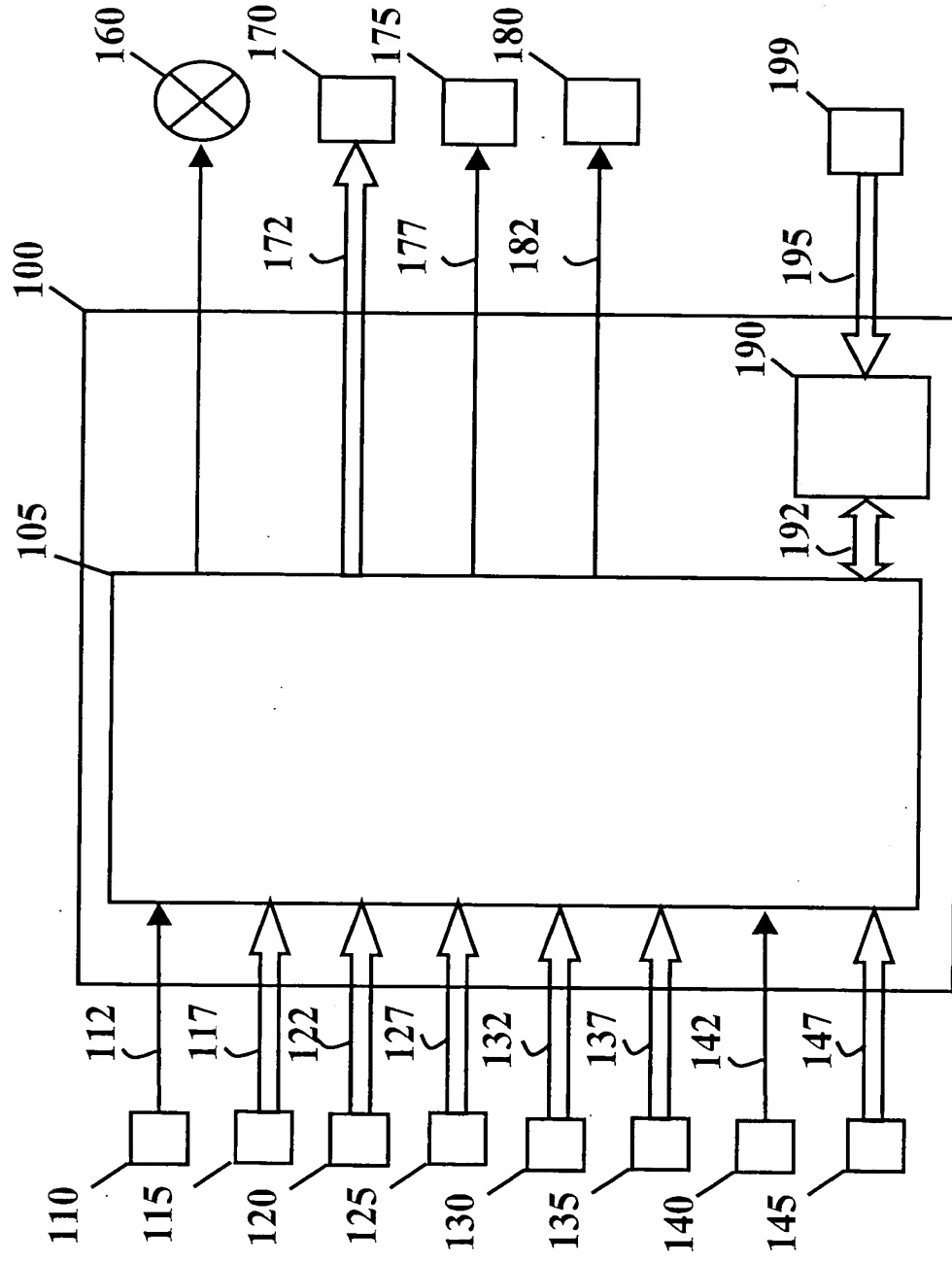
- einen Ladezustand (142) der Batterie,
 - einen Funktionszustand der Radbremsen, insbesondere eine momentane Bremsleistung an den Radbremsen, und/oder
 - eine momentane Motorleistung (312)
- erfassen..

12. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel (305) vorgesehen sind, die zur Umverteilung der Bremslast auf energienehmende Komponenten (175) eine Verlagerung der Bremskraftverteilung von den Radbremsen der nicht angetriebenen Achse zu den Radbremsen der angetriebenen Achse durchführen.

Fig. 1

1/5

R. 305034



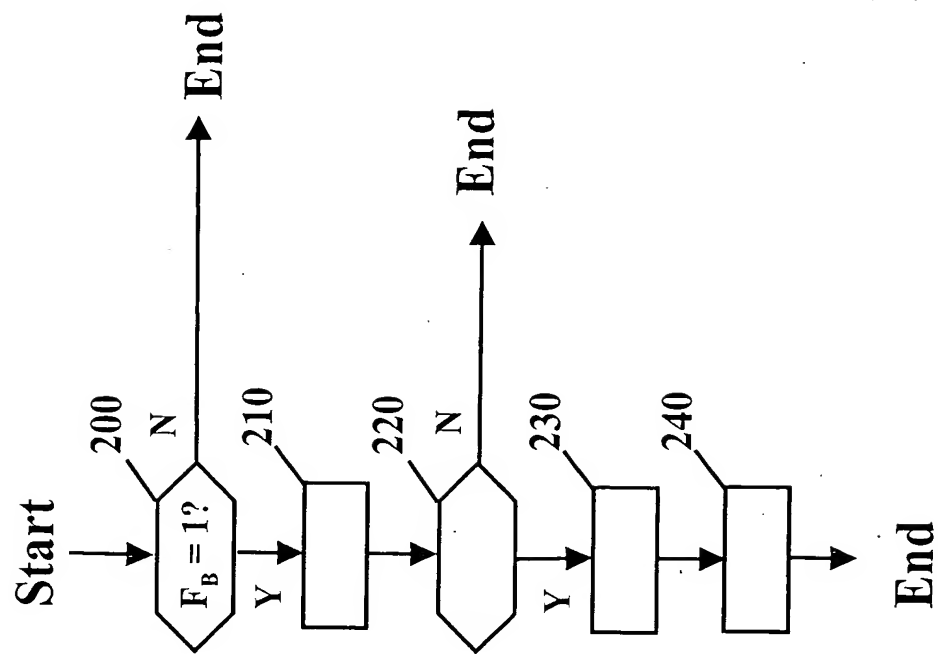
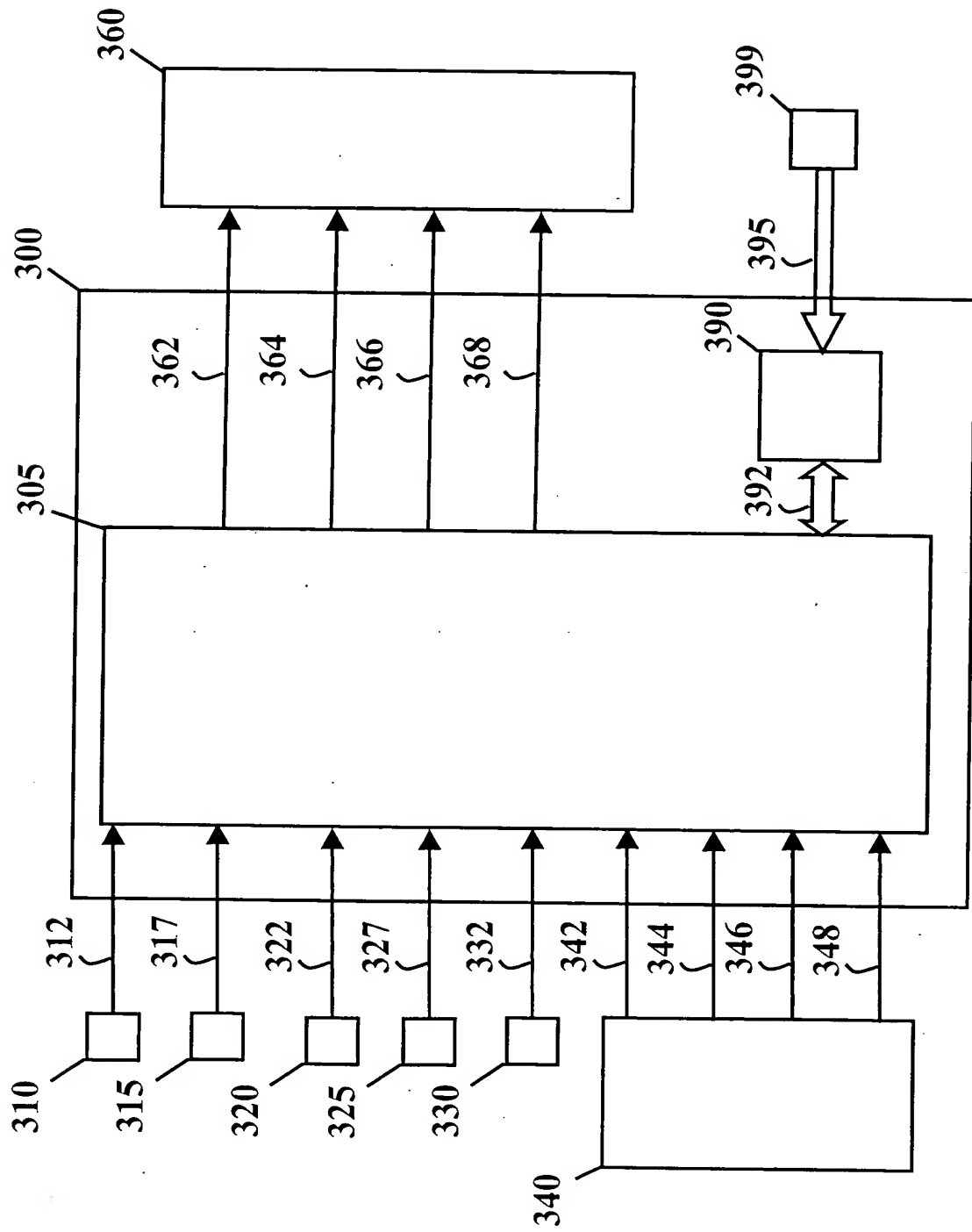


Fig. 2

Fig. 3

3/5

R. 305034



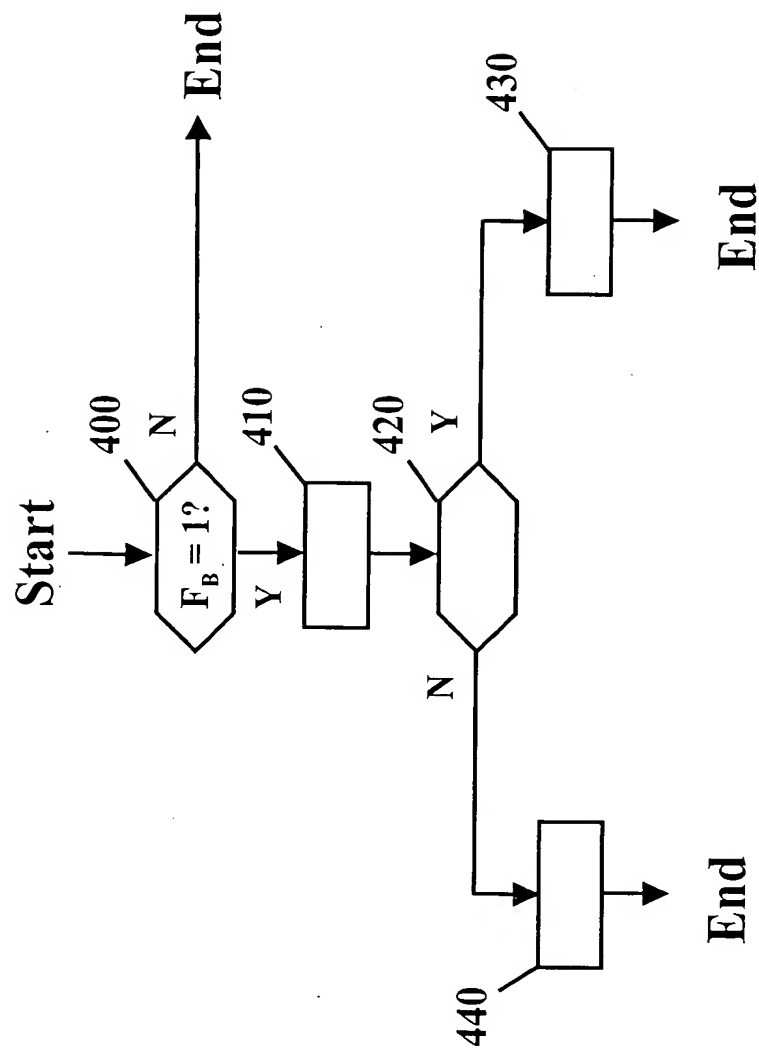


Fig. 4

Fig. 5

5/5

R. 305034

